

AGROSAL: PRESENTACIÓN DEL NUEVO SISTEMA ONLINE DE RECOMENDACIÓN DEL RIEGO EN ZONAS AMENAZADAS POR SALINIZACIÓN DEL SUELO. PARTE II

¹ Instituto Valenciano Investigaciones Agrarias (IVIA).
Centro para el Desarrollo de la Agricultura Sostenible (CEDAS).
Ctra. Moncada-Nàquera km 4.5.
Apdo. Oficial. 46113. Moncada (Valencia).

² Centro de Investigaciones sobre Desertificación (CIDE).
Carretera Moncada-Nàquera km 4.5.
Apdo. Oficial. 46113. Moncada (Valencia).

INTRODUCCIÓN

El regadío en la Comunidad Valenciana constituye, prácticamente, el principal modo de explotación de las tierras agrícolas. En total se cultivan en regadío unas 280.000 ha, más de la mitad de las cuales están dedicada a cítricos. Esto constituye el 54% de la superficie nacional dedicada a todos los agrios. Otros cultivos relevantes en la Comunidad Valenciana son la alcachofa, la calabaza, el níspero, la uva blanca de mesa, el caqui, el granado, la chufa y la palmera datilera que ocupan más de 24.000 ha en conjunto.

Todas estas cifras dan una idea de la importancia del regadío en la Comunidad Valenciana, y de la necesidad de conservarlo. Históricamente, la salinización de los suelos ha constituido la principal amenaza para el desarrollo sostenible del regadío [1]. Evitarla demanda un esfuerzo de comprensión del movimiento del agua en los suelos, y cómo sus sales disueltas se acumulan en los mismos dañando el cultivo. Esto se puede llevar a cabo mediante modelos de simulación integrados con bases de datos con información georreferenciada de suelo, agua, cultivo y clima. El esfuerzo que exige

Resumen

La agricultura de regadío de la Comunidad Valenciana se caracteriza por una utilización intensiva del suelo y el agua, lo cual amenaza su sostenibilidad. Una de las principales amenazas es la salinización, la cual puede agravarse en los próximos años debido a la aridez del clima en un escenario de cambio climático. Por esta razón es importante disponer de herramientas que permitan planificar los riegos lo más eficientemente posible adaptándose al clima y la calidad del agua en cada momento y lugar, y a la vez asegurando la producción y calidad del cultivo, y protegiendo el medio ambiente. El sistema de ayuda a la decisión accesible en Internet DSS-SALTIRSOIL (www.agrosal.ivia.es) ha sido creado con esta finalidad. En el presente trabajo se presenta un ejemplo de aplicación de esta herramienta para un cultivo de mandarina adulto en Almoradí (Alicante), con el fin de mostrar las principales características de esta aplicación, así como sus capacidades y limitaciones.

desarrollar este tipo de herramientas vale la pena, sobre todo para hacer frente a la amenaza de cambio climático. De acuerdo con las estimaciones más fiables, la aridez del clima en la Comunidad Valenciana aumentará significativamente durante los próximos 20 años [2]. Esta mayor aridez tendrá un doble impacto sobre el regadío. Por un lado aumentará las necesidades de agua de los cultivos, y por otro lado disminuirá la disponibilidad de agua de calidad para todos los usos, tanto urbanos como agrícolas e industriales. De hecho, en unas estimaciones realizadas para la zona de la Vega Baja del Segura y Bajo Vinalopó, bajo un escenario de cambio climático se calculó que el nivel de salinidad de los suelos se incrementaría en un 14%, por lo que se necesitaría un 20% más de recursos hídricos para paliar el incremento de la demanda hídrica de los cultivos y a la vez minimizar el problema de la salinización [3-4]. Por lo tanto, y debido a que la agricultura es el principal usuario de agua dulce con la utilización del 70% de los recursos hídricos [5], en nuestra comunidad va a ser la actividad a la que se le pida realizar un mayor esfuerzo de adaptación. Esta adaptación consistirá en, por un lado producir utilizando menos agua, y por otro lado, producir utilizando aguas no convencionales [6]. Estas aguas no convencionales, que en la actualidad sólo dan cuenta del 5% de la demanda

agraria [7], son principalmente las aguas depuradas, y también las provenientes de desalación, tanto de permeado como de rechazo, diluidas con otras menos salinas.

En el escenario tanto presente como futuro en el cual se va a desarrollar el regadío en la Comunidad Valenciana, disponer de herramientas que ayuden a agricultores y técnicos agrícolas en la toma de decisiones para el manejo sostenible del agua, el suelo y el cultivo en regadío es de vital importancia. Por esta razón se ha desarrollado el sistema de ayuda a la decisión DSS-SALTIRSOIL, al cual se puede acceder a través de Internet desde el portal web AGROSAL. En las siguientes páginas se muestra cómo se maneja esta herramienta informática, y cuáles son tanto sus capacidades como sus limitaciones.

UTILIZACIÓN DEL SISTEMA DE RECOMENDACIÓN DSS-SALTIRSOIL

Acceso al sistema

El portal web AGROSAL (<http://www.agrosal.ivia.es/>) aloja el sistema de recomendación DSS-SALTIRSOIL al que se puede acceder mediante la pestaña "DSS-SALTIRSOIL" (Fig. 1). Otra forma de acceso es en la pantalla inicial de presentación haciendo clic sobre el logotipo

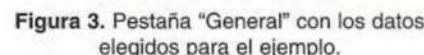


Figura 2. Pantalla de presentación del DSS-SALTIRSOIL.

cada pestaña, y estemos conformes con los mismos, haremos clic en el botón Guardar >>. Una vez hecho esto, los datos de la pestaña activa quedarán guardados, y se activará la siguiente pestaña, en la cual procederemos igual, y así con todas en orden hasta que toda la información que necesita la aplicación esté completada.

Pestaña "General"

En esta pestaña el usuario debe escribir en el primer recuadro un nombre para la simulación que desea realizar (por ejemplo el nombre de la parcela). Este nombre se incluirá posteriormente en el informe final que se genere con la recomendación. Además mediante unos recuadros de lista desplegable, el usuario debe seleccionar la provincia de la Comunidad Valenciana, y el término municipal en el cual se encuentra la parcela y finalmente, la profundidad de la simulación en cm hasta la cual se estimará la salinidad del suelo. Para el ejemplo mediante el cual mostramos el funcionamiento de la aplicación, hemos seleccionado como nombre de la simulación "Mandarino adulto en Almoradí 2012", como provincia "Alicante", como término municipal "Almoradí" y como profundidad de suelo 90 cm (Fig. 3). Una vez confor-



Pestaña "Clima"

En esta pestaña se muestran unos cuadros de lista desplegable mediante los cuales el usuario debe seleccionar los datos meteorológicos a utilizar para la simulación: los datos esenciales para la simulación son la precipitación mensual expresada en mm (que es lo mismo que litros por metro cuadrado), el número de días con lluvia del mes y la evapotranspiración. La selección se lleva a cabo eligiendo la estación meteorológica y el año cuyos datos sean más representativos de la parcela para la cual se quiera realizar la simulación. Para el ejemplo que estamos desarrollando se eligió la estación de Almoradí y el año 2012. Una vez elegida la estación y el año, la aplicación muestra los datos meteorológicos mensuales más relevantes (Fig. 4). En el caso de que el usuario disponga de datos meteorológicos propios, la información climática mostrada se puede modificar directamente en la tabla clicando sobre cada celda, y a continuación confirmando el cambio presionando la tecla "Enter" en el teclado. Los datos que realmente utiliza el modelo SALTIRSOIL para la simulación son: la precipitación, la evapotranspiración (ET0), y el número de días de lluvia. Una vez conformes haremos clic en el botón Guardar >>.

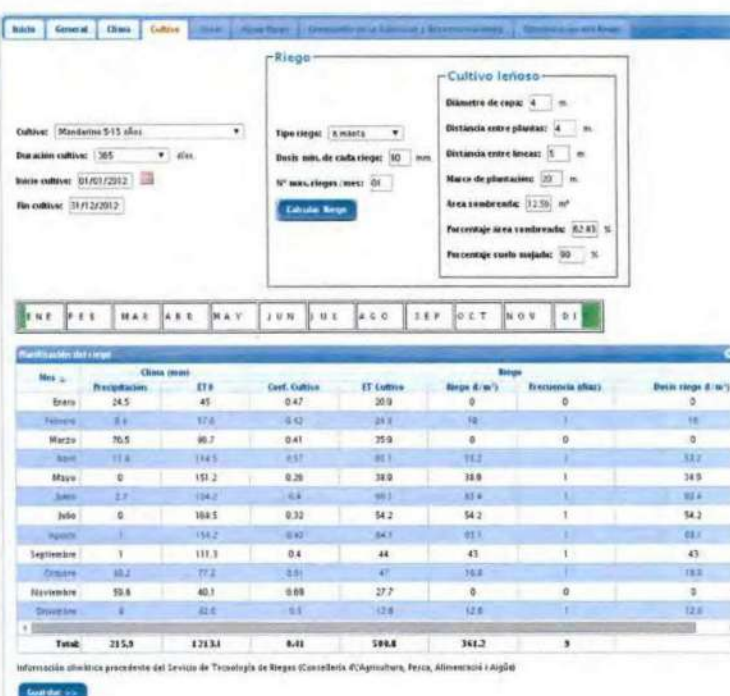


Figura 5. Pestaña "Cultivo" con los datos elegidos para el ejemplo.

Inicio General Clima Cultivo Suelo Agua Riego Evaluación de la Salinidad y Recomendaciones

Tierra del suelo: Franco arcillo limoso (Permeabilidad: Baja) Término municipal: Almoradí

Propiedades del Suelo para Evaluación:

Profundidad (cm)	Porcentaje (%)	Dens. Aparente (g/cm ³)	Mat. Org. (%)	PH	Arcilla (%)	Arena (%)	Textura	Por. Saturado (%)	Cap. Campo (%)
0 - 10	0	1.28	2.5	8.37	35.85	14.28	Franco arcillo limoso	0.19	0.37
10 - 20	0	1.36	2.49	8.37	37.54	20.33	Franco arcilloso	0.25	0.39
20 - 60	0	1.51	1.33	8.4	35.95	18.45	Franco arcillo limoso	0.24	0.36
60 - 90	0	1.54	0.1	8.3	42.35	11.8	Arcillo limoso	0.3	0.38

Guardar >>>

▲ Figura 6. Pestaña "Suelo" con los datos elegidos para el ejemplo.

Inicio General Clima Cultivo Suelo Agua Riego Evaluación de la Salinidad y Recomendaciones

Término municipal: Almoradí

Unidad de Demanda Agraria: Tradicional Vega Baja

Origen del agua: Depuradora

Conductividad Eléctrica - Salinidad: 2.05 dS/m - 1.31 mg/l

Calcular y Recalcular

Datos Agua de Riego:

Factor	Valor	Unid.	Valor	Unid.	Observaciones
PH	7.66	pH	7.66	pH	Moderada
Conductividad	2.05	dS / m	1.31	mg / l	USCARAMENTO SALINA
Carbonatos	4.32	mg / l	253.86	mg / l	Moderado
Cloruro	0.62	mg / l	340.68	mg / l	Alto
Nitrato	0.84	mg / l	51.82	mg / l	Moderado
Sulfato	6.05	mg / l	299.53	mg / l	Alto
Cable	6.14	mg / l	122.87	mg / l	Alto
Magnesio	4.37	mg / l	35.36	mg / l	Alto
Sodio	0.05	mg / l	221.97	mg / l	Moderado
Potasio	0.48	mg / l	11.18	mg / l	
Relación de absorción del sodio (RAS)	4.17		4.17		NO SODICA
Carbonato sódico residual (CSR)	-6.4		-6.4		Baja

Figura 7.

Pestaña "Agua Riego" con los datos elegidos para el ejemplo.

Pestaña "Cultivo"

En esta pestaña el usuario puede seleccionar el tipo de cultivo en la parte izquierda, y además el tipo de riego en la parte derecha dentro del marco "Riego".

En cuanto al tipo de cultivo, dentro del DSS-SALTIRSOIL se contemplan dos: cultivos anuales y cultivos multianuales. Los cultivos anuales son todos aquellos cuyo ciclo de desarrollo desde la siembra o trasplante hasta la recolección se completa en no más de 12 meses, es decir, prácticamente todos los cereales, y casi todas las leguminosas, tubérculos, forrajeras, hortalizas y ornamentales. Los cultivos multianuales, a su vez, son prácticamente todos los frutales y la vid.

En cuanto al tipo de riego, se contemplan únicamente los dos mayoritariamente utilizados en la Comunidad Valenciana [8]: el riego por gravedad, etiquetado como manta o surcos y el riego localizado, etiquetado como goteo.

Para el ejemplo que se presenta seleccionamos en el recuadro de lista desplegable "Cultivo" un mandarino de 5-15 años y a continuación, en el recuadro de lista desplegable "Duración cultivo" seleccionamos, dado que se trata de un cultivo multianual, el valor de 365 días. A continuación se muestran dos recuadros donde debemos introducir los datos de fecha de inicio y fin del cultivo. Dado que ya hemos introducido la duración, únicamente es necesario introducir única la fecha de inicio del cultivo. Al tratarse de un cultivo multianual da igual la fecha de inicio seleccionada, ya que el DSS-SALTIRSOIL simula el año entero.

A continuación seleccionamos el tipo de riego (manta, surcos o goteo) y sus características dentro del marco "Riego". El riego del mandarino en este ejemplo será por superficie y este método se elige en la lista desplegable "Tipo riego". A continuación seleccionamos la dosis mínima de riego en cada aplicación en el recuadro "Dosis min. de cada riego", y el número máximo de riegos que se pueden dar en

un mes en el recuadro "Nº máx. riegos / mes". Dentro del marco que se encuentra más a la derecha, llamado en este caso "Cultivo leñoso", tecleamos el valor del diámetro de copa de los árboles, la distancia de un árbol a otro dentro de una fila y la anchura de las calles, en los recuadros "Diámetro de copa", "Distancia entre plantas" y "Distancia entre líneas", respectivamente. Una vez introducidos estos datos, automáticamente se calcula el marco de plantación y el área sombreada por el cultivo en m², y también el porcentaje de área sombreada. El valor del porcentaje de suelo mojado se muestra más abajo. Para riego por superficie se toma un valor del 90% por defecto, no obstante, el usuario puede modificarlo para adecuarlo a la realidad de su parcela.

En nuestro ejemplo se escogieron los valores que se muestran en la Fig. 5 para los parámetros de simulación que se han explicado. A continuación haciendo clic en el botón "Calcular Riego" se nos muestra la estimación que hace el programa de los riegos mínimos, en litros por metro cuadrado (l/m²), que mensualmente deberíamos dar en esta parcela para asegurarnos un buen estado hídrico de los árboles. El usuario puede modificar el valor, tanto de la dosis de riego como del número de días de riego de los meses que desee, para adecuarlo a la realidad del manejo de su parcela. Para llevar esto a cabo se debe clicar sobre la celda que se desee cambiar. Para guardar el cambio en el riego (dosis y/o frecuencia) hay que presionar la tecla "Enter" del teclado después de cada modificación. Nótese que los riegos estimados por la aplicación en esta pestaña, no tienen en cuenta todavía los posibles problemas de salinidad que puedan producirse en el suelo como consecuencia del riego. Para tener esto en cuenta se deben considerar las características tanto del suelo como del agua de riego, lo cual se explica en las dos pestañas a continuación. En el ejemplo que nos ocupa no se modificó ninguno de los valores calculados por la aplicación para las dosis ni frecuencia de los riegos. Una vez conformes con los datos de riego se hace clic en el botón Guardar >>.

Pestaña "Suelo"

En esta pestaña se presentan dentro del primer recuadro de lista desplegable "Textura del suelo", diferentes suelos mediante el nombre de su clase textural según el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), acompañada además de una indicación orientativa de su permeabilidad. Estos suelos se encuentran dentro del mismo término municipal que se seleccionó al inicio de la simulación, y se encuentra seleccionado por defecto en el recuadro de lista desplegable "Término municipal". Para el ejemplo que nos ocupa se eligió un suelo de textura franco-arcillo-limosa y permeabilidad baja del término de Almoradí, cuyas características principales se muestran en la tabla (Fig. 6). Si el usuario estima que ninguno de los suelos presentados se adapta a la realidad de su parcela, puede escoger otro suelo de otro término municipal. En aquellos términos municipales en los que no se dispone de información de suelos, el sistema ofrece por defecto 5 suelos de diferente textura (arcillosa, franco-arcillosa, franca, franco-arcillo-arenosa y arenosa). Estos datos de suelo mostrados en la tabla no son editables y no se pueden cambiar. Una vez conformes con los datos que hayamos seleccionado hacemos clic en el botón Guardar >>.

Pestaña "Agua Riego"

Para completar la información necesaria para realizar la simulación debemos seleccionar las características del agua de riego, lo cual se hace en esta pestaña (Fig. 7). En primer lugar tenemos el recuadro de lista desplegable "Término municipal" en el que aparece por defecto el que escogimos cuando introdujimos los datos de la pestaña General. A continuación se muestra el recuadro de lista desplegable "Unidad de Demanda Agraria" (UDA) donde debemos seleccionar aquella UDA a la cual pertenece el agua de riego (Regadíos Tradicionales de la Vega Baja del Segura, Acequia Real del Júcar, etc.). A continuación dentro del recuadro de lista desplegable "Origen del agua" se

nos muestran varias opciones para seleccionar el origen de la misma (superficial, subterránea o depurada). En el último recuadro de lista se nos ofrecen diferentes opciones de salinidad para el agua. La aplicación proporciona dicha salinidad estimada mediante su conductividad eléctrica a 25 °C en unidades de dS/m, y también como sales disueltas en unidades de mg/L. Al elegir un valor de salinidad se nos muestra en la tabla a la derecha las características principales del agua (pH, conductividad, bicarbonato, cloruro, nitrato, sulfato, calcio, magnesio, sodio, potasio, relación de adsorción de sodio (RAS) y carbonato sódico residual (CSR)), junto con una evaluación orientativa del agua para este parámetro en la última columna a la derecha. Para realizar este ejemplo hemos elegido un agua depurada de 2.05 dS/m de conductividad eléctrica a 25 °C, la cual es sólo ligeramente salina y no sódica, pero con un relativamente alto contenido en cloruro. Una vez conformes con los datos obtenidos para el agua de riego ya podemos hacer clic en el botón "Evaluar y Recomendar".

Pestaña "Evaluación de la Salinidad y Recomendaciones"

Una vez que hacemos clic en el botón "Evaluar y Recomendar", la aplicación realiza la simulación de la salinidad, la sodicidad y la concentración de cloruro en el suelo en la parcela para cada uno de los meses del año que hayamos simulado. En esta pestaña se muestran los resultados de forma gráfica, y también se nos ofrece una evaluación de la salinidad del suelo, una estimación de la pérdida de producción que se tendría con dicho nivel de salinidad, y una recomendación de manejo (Fig. 8). En el ejemplo que hemos llevado a cabo se tiene un suelo moderadamente salino a lo largo de toda la temporada de cultivo, el cual se estima que ocasionará una pérdida de producción del 52%. También se tendrá un suelo ligeramente sódico, y los árboles experimentarán problemas de toxicidad por cloruro. En la parte superior de esta pestaña se muestran dos botones. En la esquina superior izquierda tenemos el botón "Informe PDF", mediante el cual podemos obtener un documento donde se muestran todos los datos que hemos ido introduciendo y seleccionando al llevar a cabo la simulación, así como los resultados que se han obtenido para la misma. En la esquina

superior derecha tenemos el botón "Optimizar Riego". Este botón se habilita cuando las pérdidas estimadas debidas a la salinidad son superiores al 10%. Haciendo clic sobre este botón la aplicación recalculará un riego que permita lavar las sales del suelo, y así tener pérdidas de producción por salinidad inferiores al 10%. Haciendo clic en este botón obtenemos los resultados que se muestran en la pestaña "Optimización del Riego".

Pestaña "Optimización del Riego"

Una vez hacemos clic en el botón "Optimizar Riego", la aplicación calcula el riego mínimo que disminuirá las pérdidas de producción por salinidad por debajo del 10%. En esta pestaña se nos muestran los resultados de la optimización del riego. En la parte de arriba se nos indica que se puede mejorar el rendimiento del cultivo, y que esta mejora se puede llevar a cabo mediante el aumento de la dosis de riego. A continuación se nos presenta una tabla con los riegos que habría que dar al cultivo mensualmente para poder tener esta mejora en la producción (Fig. 9). A continuación se indica el valor de la pérdida de producción con este manejo del riego, que en el caso de este ejemplo es del 8%. Finalmente se nos presentan de nuevo las gráficas de salinidad, sodicidad y contenido de cloruro en el suelo de la parcela como resultado del manejo optimizado del riego (Fig. 10). En caso de que con el manejo del riego no sea suficiente para poder reducir las pérdidas al 10%, el sistema recomendará el cambio de agua de riego o el cambio a otro cultivo más tolerante.

CAMBIOS EN LAS SIMULACIONES

Una vez llevada a cabo una simulación, habitualmente el usuario desea ajustar o cambiar el valor de algunos datos de entrada, para estudiar el efecto de estos cambios en la salinidad y parámetros de optimización del cultivo en su parcela. Para hacer cambios el usuario sólo tiene que activar la pestaña donde desee realizarlos. Una vez lo haya hecho, tiene que volver a hacer clic en el botón Guardar >> de la pestaña correspondiente, lo cual es imprescindible para que los cambios surtan efecto cuando se realice la nueva simulación. El usuario debe proceder de esta misma manera en todas las pestañas donde quiera realizar cambios. Una vez

hechos los cambios puede volver a la pestaña "Evaluación de la Salinidad y Recomendaciones" y hacer nuevamente clic en el botón "Evaluar y Recomendar". En relación con esto, es recomendable que el usuario genere el informe correspondiente a la primera simulación y luego cambie el nombre de la simulación en la pestaña "General", y genere los informes correspondientes a las siguientes simulaciones a medida que realice cambios con objeto de poder comparar el efecto de los mismos en la salinidad y optimización.

En el ejemplo que se muestra se optó por ver cómo cambia la salinidad y la optimización con el cambio de riego de manta a goteo. Esto se realizó activando la pestaña "Cultivo" y allí en primer lugar se seleccionó "goteo" en el recuadro de lista desplegable "Tipo riego". Una vez hecho esto se estableció 1 mm como dosis mínima de cada riego, y 20 como número máximo de riegos en un mes. En el cuadro de la derecha se estableció 15% como porcentaje de suelo mojado, 2 goteros por árbol, y 4 L/h el caudal de cada gotero. A continuación se hizo clic en el botón "Calcular Riego". De acuerdo con los resultados vemos que la aplicación estima una dosis de riego para compensar la transpiración y evaporación de 320 L/m² año, es decir 40 L/m² año menos que con el riego a manta. Estos 40 L/m² año menos son consecuencia de la menor evaporación de agua desde el suelo que se tiene en el riego a goteo respecto al riego a manta.

A continuación se llevó a cabo la evaluación de la salinidad en el suelo y en este caso se obtuvo una pérdida de producción del 70% en lugar del 52% obtenido con el riego a manta. Esto ocurre como consecuencia de la mayor salinidad que se tiene en esta parcela regada a goteo como consecuencia de la mayor eficiencia de uso del agua, es decir menores pérdidas de agua por percolación profunda, y en consecuencia, menores pérdidas de sales por lixiviación.

Finalmente, se llevó a cabo la optimización y se obtuvo como resultado que deberían utilizarse 560 L/m² año, para tener una pérdida de producción de tan solo el 9%, y una conductividad eléctrica en el extracto de saturación del suelo máxima de 2.5 dS/m. Esto es lo mismo que se obtuvo en el riego a manta.

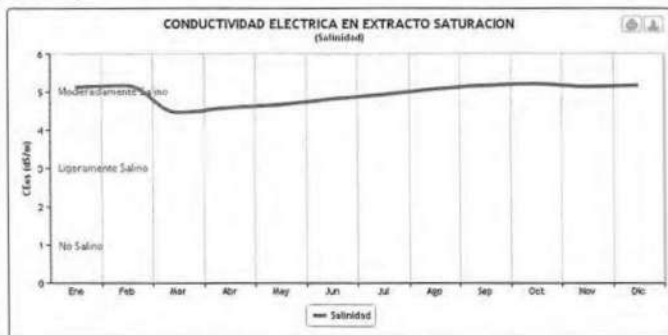
Cultivo: Mandarino 5-15 años

Evaluación de la salinidad:

- Moderadamente salino.
- Pérdida de producción debida a la salinidad: 52 %

Recomendación de manejo:

- Optimizar riego.

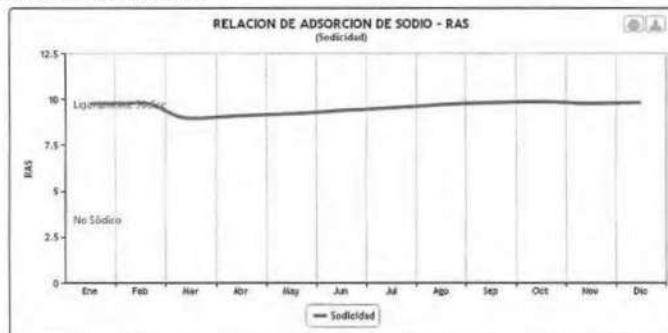


Evaluación de la sodicidad:

- Ligeramente sódico.

Recomendación de manejo:

- El manejo del riego es adecuado.



Evaluación de la toxicidad:

- Moderadamente tóxico

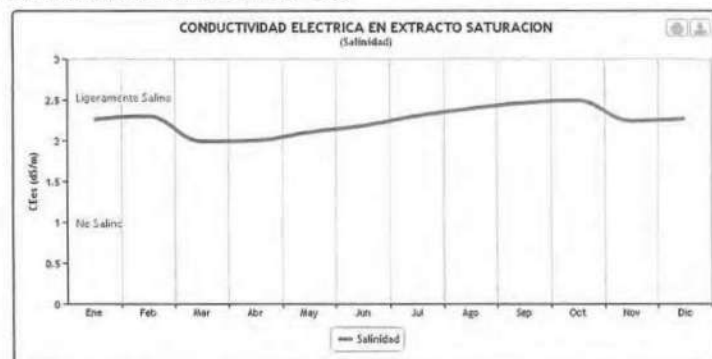
Recomendación de manejo:

- El manejo del riego es adecuado.



Evaluación de la salinidad:

- Ligeramente salino.
- Pérdida de producción debida a la salinidad: 9 %



Evaluación de la sodicidad:

- No sódico.



Evaluación de la toxicidad:

- Ligeramente tóxico



Figura 10. Gráficas de salinidad, sodicidad y concentración de cloruro en el suelo con el riego optimizado en la pestaña "Optimización del Riego".

Figura 8. Pestaña "Evaluación de la Salinidad y Recomendaciones" para la simulación realizada como ejemplo.

Capacidades y limitaciones del sistema de recomendación DSS-SALTISOIL

Los problemas de salinidad del suelo pueden combatirse de dos formas principalmente: mejorando el entorno del cultivo, o bien aumentando la tolerancia de la planta a la salinidad [9]. Entre los tratamientos para mejorar el entorno del cultivo el más usado es el lavado de sales de la zona radicular. Esto consiste en aumentar el riego y facilitar el drenaje de tal modo que se laven las sales del suelo y se evacuen en las aguas de drenaje. Esto se conoce como aplicación de una fracción de agua de riego de lavado del

Figura 9. Tabla con el riego optimizado que se presenta en la pestaña "Optimización del Riego".

Inicio	General	Clima	Cultivo	Suelo	Agua Riego	Evaluación de la Salinidad y Recomendaciones	Optimización del Riego
Informe PDF							
Optimización							
Se puede mejorar el rendimiento del cultivo.							
Recomendaciones							
Aumentar la dosis de riego para alcanzar el rendimiento de cultivo deseado.							
Recomendaciones de riego							
Mes	Precipitación (mm)	ET0	Coef. Cultivo	ET Cultivo	Riego (mm)	Frecuencia (días)	Dosis riego (l/m²)
Enero	24.5	45	0.47	20.9	0	0	0
Febrero	8.4	57.6	0.42	24.3	24.6	1	24.6
Marzo	70.5	86.7	0.41	35.9	0	0	0
Abril	11.8	114.5	0.57	67.1	52.7	1	62.7
Mayo	0	151.2	0.26	39.9	60.5	1	60.5
Junio	2.7	164.2	0.4	66.1	0	1	66.1
Julio	0	168.5	0.32	54.2	84.1	1	84.1
Agosto	1	154.2	0.42	64.1	98	1	98
Septiembre	1	111.3	0.4	44	66.8	1	66.8
Octubre	50.2	77.2	0.01	47	30.1	1	29.1
Noviembre	59.8	40.1	0.69	27.7	0	0	0
Diciembre	0	42.6	0.5	12.6	19.6	1	19.6
Total	215.9	1213.1	0.41	596.8	561.1	9	

suelo [10]. El sistema de recomendación DSS-SALTIRSOIL calcula la fracción de lavado necesaria para que se minimice la salinidad del suelo y se evite la afección al cultivo. Este sistema DSS-SALTIRSOIL ha sido creado para dar recomendaciones y una guía sobre cómo manejar el riego bajo condiciones de salinidad. A la vez, la aplicación tiene capacidad para estimar qué niveles de salinidad, sodio y cloruro me puedo encontrar en mi parcela si cambio el sistema de riego, el manejo del riego, la calidad del agua de riego, etc. De la misma forma, también sirve para conocer cuanta producción estoy perdiendo a causa de la salinidad.

Por otro lado, en el marco actual y futuro de escasez de agua y búsqueda de mayores eficiencias de riego, la estrategia de aplicar una fracción de lavado presenta el inconveniente de tener que usar un exceso de agua que luego se devuelve a cauce público con una calidad inferior a la del agua de riego original. Por eso, la aplicación de cantidades extra de agua por encima de las necesidades de los cultivos, debe realizarse con prudencia. Si la cantidad extra es grande, se deberían valorar otros manejos junto con el riego, para no incurrir en un consumo excesivo de agua. En nuestro ejemplo, el manejo óptimo del cultivo exigía la utilización de 560 L/m² año frente a los 360 L/m² año que sería el mínimo para un manejo normal de riego. En este caso, la cantidad extra de agua para lavado son 200 L/m² año. En definitiva, los 560 L/m² no superan el máximo de 700 L/m² que marca la normativa para la producción integrada de cítricos en la Comunidad Valenciana para el riego por gravedad [11]. Este límite ha sido tenido en cuenta en el desarrollo del DSS-SALTIRSOIL. Concretamente, cuando el sistema calcula riegos anuales superiores a 1200 L/m² año para obtener rendimientos de al menos el 90%, se indica que para asegurar la sostenibilidad de la explotación, se deberían adoptar otras medidas junto con el riego. Éstas consisten, o bien en el cambio a un agua de riego menos salina, o bien el cambio a otra variedad, otro patrón, o simplemente a otro cultivo de mayor tolerancia.

En el ejemplo mostrado en este trabajo se optó por seleccionar un riego por gravedad dado que, a día de hoy, continúa siendo la técnica de riego más

común en la Comunidad Valenciana [8]. En la optimización del manejo del riego en el cultivo de mandarina adulto que se ha presentado como ejemplo, se ha visto que la dosis de riego es la misma tanto en riego a manta como en riego a goteo. En el DSS-SALTIRSOIL no se tienen en cuenta los efectos diarios de la salinidad y la humedad del suelo sobre el cultivo. Esto es importante en relación a dos aspectos clave del manejo del riego, sobre todo a goteo. Por un lado está la planificación diaria del riego, para la cual el agricultor necesitará apoyarse en la observación del estado hídrico del cultivo ya sea visualmente o usando sondas de humedad del suelo. Por otro lado, está la capacidad que el riego por goteo otorga al agricultor para mantener un nivel de humedad del suelo significativamente por encima del punto de marchitez de manera continua en el tiempo. Esta capacidad que se tiene con el riego a goteo hace posible una mitigación extra de los efectos perniciosos de la salinidad sobre el cultivo.

Finalmente, hay que destacar que la limitación más importante de este sistema está ligada al requisito de que no haya ningún impedimento al drenaje por debajo de la profundidad de simulación. Es decir, en condiciones de un nivel freático superficial, una compactación, una costra caliza a escasa profundidad, el modelo simula una salinidad menor que la que realmente se observaría. Esto es debido a que SALTIRSOIL no es capaz de simular el efecto de una percolación lenta del agua en el suelo, ni tampoco la aportación de sales al perfil del suelo desde el nivel freático.

CONCLUSIONES

El sistema de ayuda a la decisión en el manejo del riego en suelos amenazados por salinización DSS-SALTIRSOIL ha sido presentado en el presente trabajo mediante el desarrollo, paso a paso, de un ejemplo de planificación mensual del riego a lo largo de un año en una parcela de mandarina adulto en Almoradí (Alicante). En el desarrollo de dicho ejemplo se han presentado las principales características de esta aplicación. Particularmente, se ha visto cómo el usuario puede ir eligiendo de forma sencilla los datos que mejor se adapten a la realidad de su parcela en cuanto a clima, cultivo, suelo, calidad de agua de riego y

manejo del riego, apoyándose en una amplia base de datos que alcanza a toda la Comunidad Valenciana. Además, se ha visto cómo las simulaciones realizadas con el modelo pueden guardarse como documento pdf, y cómo el usuario puede realizar cambios en la simulación, para ver el efecto que los cambios en el manejo tendrían en la salinidad, y la planificación del riego en las parcelas de su interés. En tanto que la planificación de riego se lleva a cabo mensualmente en el DSS-SALTIRSOIL, qué días realizar los riegos no queda determinado por esta aplicación, y el usuario tendrá que recurrir a otros métodos como la observación visual, la experiencia o sondas para decidirlo. El sistema no dará recomendaciones adecuadas para lugares donde el nivel freático se sitúe próximo a la superficie del suelo durante periodos prolongados de tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Bjornlund, V., Bjornlund, H. (2010). Sustainable irrigation - a new challenge? En: Brebbia, CA; Marinov, AM; Bjornlund, H (Eds.) Sustainable Irrigation Management, Technologies and Policies III. WIT Transactions on Ecology and the Environment 134, 165-176.
- [2] IPCC. 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- [3] De Paz J.M., Visconti F., Molina M. J., Sánchez J., Martínez D., Jiménez G. 2012. Prediction of the effects of climate change on the soil salinity of an irrigated area under Mediterranean conditions. Proceedings of the 4th International Congress EUROSOIL 2012 - Soil Science for the Benefit of Mankind and the Environment. pp.1572.
- [4] De Paz J.M., Visconti F., Molina M.J., Ingelmo F., Sanchez J. 2010. GIS-SALTIRSOIL: a new tool to evaluate and modelling soil salinity at regional scale: an application to evaluate the climate change effect in an irrigated salinity risk area. Proceedings of the Global Forum on Salinization and Climate Change; Thomas, R., FAO, p. 126-135.
- [5] Cabezas, F., Cabrera, E., Morell, I. (2008). El Agua, una Cuestión de Estado. Asociación Valenciana de Empresarios, Valencia.
- [6] Falloon, P., Betts, R. 2010. Climate impacts on European agriculture and water management in the context of adaptation and mitigation-The importance of an integrated approach. *Science of the Total Environment* 408, 5667-5687.
- [7] INE. 2014. Encuesta sobre el uso de agua en el sector agrario Año 2011. Instituto Nacional de Estadística, Madrid.
- [8] INE. 2013. Encuesta sobre el uso de agua en el sector agrario Año 2011. Notas de prensa. Instituto Nacional de Estadística, Madrid.
- [9] Plaut, Z., Edelstein, M., Ben-Hur, M. 2013. Overcoming salinity barriers to crop production using traditional methods. *Critical Reviews in Plant Sciences* 32, 250-291.
- [10] Letey, J., Hoffman, G.J., Hopmans, J.W., Grattan, S.R., Suarez, D., Corwin, D.L., Oster, J.D., Wu, L., Amrhein, C. 2011. Evaluation of soil salinity leaching requirement guidelines. *Agricultural Water Management* 98, 502-506.
- [11] DOGV. 2008. RESOLUCIÓ de 27 d'octubre de 2008, del director general d'Investigació i Tecnologia Agroalimentària, per la qual s'establixen les normes per a la producció integrada en cítrics en l'àmbit de la Comunitat Valenciana. DOGV Num. 5901 (16 novembre 2008), 88055-88096.